

**Abstract**        This report describes about a rule for producing a structured description that represents each fingerprint and about a fingerprint matching method using thus produced structured descriptions. Our objective is to reproduce, in a form of a description, topological features uniquely associated with each fingerprint. For this objective, we assumed each fingerprint as an arrangement of connection components associated with papillary ridges and represented features uniquely associated with a fingerprint by a description comprising a structured set of adjacency relations between connection components, relative positions of papillary ridges constituting each connection component and shapes of respective papillary ridges. The structured description proposed in this report uses features associated with each shape, being independent of position coordinates and exemplified by features such as a ridge length and a ridge cord length, assigns numerical numbers to ridges and minutiae and describes, using thus assigned numbers, graphical features such as connection relations and adjacency relations among the ridges and minutiae so that the thus produced structural description is not affected by a distortion comprising those of various kinds such as rotational and sliding distortions associated with a fingerprint. The fingerprint matching method proposed here, on the other hand, makes ridge length comparison the basic tool for a match determination so that it becomes unnecessary to perform a position-matching process between registered and specimen fingerprint of each match-examined pair, which is required when performing a match determination according to any prior art method. We have, further, demonstrated fundamental capabilities of this approach by applying this method to some simple simulation fingerprints.

**Key words:**    individual identification, fingerprint image, feature extraction, matching, image processing

THIS PAGE BLANK (USPTO)

# 論文

幾何学的特徴による指紋画像の構造記述と照合方式の提案

正員 山田 道夫<sup>1</sup> 准員 小館 亮之<sup>1</sup> 正員 富永 英敏<sup>1</sup>

A Proposal of Description Method of Fingerprint Structure and Identification Algorithm Using Geometric Characteristics

Michio YAMADA<sup>1</sup>, Member, Akihisa KODATE<sup>1</sup>, Associate Member and Hideyoshi TOMINAGA<sup>1</sup>, Member

あらまし 本論文では、指紋画像の構造記述方式とそれを用いた照合方式について述べる。提案する構造記述方式は、指紋のトポロジカルな特徴の抽出を考慮し、指紋画像を隣接成分が位置されたものとして、指紋の特徴を連結成分相互の隣接関係、連結成分内での隣接相互の位置関係および隣接自身の形状特徴に構造化して記述するものである。隣接の長さや隣接の向き等によって表される、位置関係に不依存な形状特徴を用いて、隣接とニューンに番号を付け、それを用いて、隣接とニューンの隣接関係や隣接関係などのグラフの特徴を記述するため、回転や平行移動などの位置ずれがある場合でも、同一の構造記述情報が得られることを特徴とする。また、提案する照合方式は、隣接の長さによる対応付けを基本とし、従来方式で不可欠であった登録/入力指紋相互の照合による位置合せ処理が不要となるものである。簡単なニューンマッチングを行い、提案方式の基本的な有効性を確認した。

キーワード 個人識別、指紋画像、特徴抽出、照合、同位図

## 1. まえがき

指紋は、万人不同、後生不變の性質を有し、本人を識別する上で最も有効な身体的特徴の一つであると考えられており<sup>1)</sup>、これまで数多くの研究および実用システムの開発が行われている。

指紋照合を利用したシステムは、入退室管理等における1対1の本人確認処理と、犯罪捜査等における1対Nの指紋検索処理が一般的である。これまでに提案されている本人確認のための指紋照合方式は、利用する特徴情報によって三つの方式に大別できる<sup>2)</sup>。それらは、隣接 (Ridge) の流れの方向を量子化した隣接方向データを用いる方法<sup>3)</sup>、隣接の方向あるいは数とニューン (Minutiae) の位置位置、方向からなる特徴データを用いる方法<sup>4)-6)</sup> およびニューンを含む領域での指紋画像のセグメンテーションを行う方法<sup>7)-10)</sup> である。一方、指紋画像においては、リベソントと呼ばれるニューン間を横切る隣接の本数をコード化

したデータをインデックスとしてデータベース化し、それをもとに検索する方法が広く用いられている<sup>11)</sup>。

これら従来方式は、抽出した指紋の入力画像を位置座標に依存した手法で構造解析をしており、登録指紋情報と入力指紋情報の位置ずれ (平行移動と回転等) が照合結果に大きな影響を及ぼすため、一定範囲内の探索による位置合せ処理が必須となる。この問題に対し、従来よりさまざまな工夫がなされ、ハードウェア機能と共にアルゴリズムの工夫や、指紋固定ガイドにより入力時の位置ずれを最小限に抑えるという対策がとられている。このような工夫を要する技術的制約条件は、システムの一般化を図るときにはできる限り解放されることが望ましい。特に、ICカードの利用者認証を指紋を用いて行う場合の、カードと入力装置の一体化<sup>12)</sup> のためにもこれらの制約条件がない手法が望まれる。

このような観点から、本論文の目的は、従来よく提案されている探索による位置合せ処理の手法をとらずに、位置ずれに不感応である指紋の構造記述方式およびそれを用いた照合方式を提案し、その実効性を報告することにある。まず、指紋画像の構造記述法とその抽出処理について述べ、照合アルゴリズムを説明

し、その方法でコンピュータシミュレーションにより評価した結果について述べる。

## 2. 構造特徴の記述とその抽出法

### 2.1 グラフによる指紋構造の記述

指紋画像をグラフにより表現することが提案されているが<sup>13)</sup>、本論文では、ニューンやノード、隣接をリンクと呼称することで指紋画像をグラフ的特徴で表現することに加え、その記述を形状の特徴を用いて一意的に生成する手法について述べる。

グラフ構造の表現法として、ノードとリンクの接続状態を示す接続行列 (Incident matrix) とノード同士の接続関係を示す隣接行列 (Adjacency matrix) が一般的に定義されている<sup>14)</sup>。これらはノードの接続関係に変化が生じなければ、拡大、縮小、回転によって変化する。また、1本の隣接を図1(a)に示すように、二つのニューンのみをその両端にもつ直線と定義すると、グラフにおけるノードおよびリンクは、それぞれ

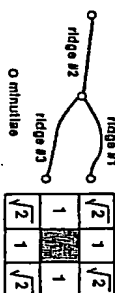


図1 隣接の定義と直線長を計測するマスク

Fig. 1 Definition of a ridge and mask for measuring ridge length.

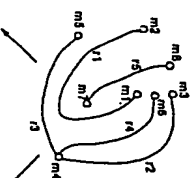


図2 指紋接続行列 M と指紋隣接行列 A

Fig. 2 Fingerprint incident matrix M and fingerprint adjacency matrix.

れ指紋画像のニューンおよび隣接に対応すると考えられる。そこで、指紋画像に対して、指紋接続行列  $M=(m_{ij})$  とニューン隣接行列  $A=(a_{ij})$  を以下のよう

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ニューン } i \text{ が隣接 } j \text{ の一端である} \\ 0 & \text{その他} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ニューン } i, j \text{ が1本の隣接の両端である} \\ 0 & \text{その他} \end{cases}$$

指紋画像は形状の情報が存在しているため、上記の定義に基づいて生成されたグラフは、指紋の特徴の記述として不十分である。そこで、形状を記述する特徴量として、指紋画像の入力の向きや抽出の状況によって変動することが少ない情報を用いるために、隣接の長さおよび隣接法線ベクトル (Ridge normal vector) を利用する。長さの定義には二つあり、一つは隣接長 (Ridge length, RL) で、もう一つは隣接弦長 (Ridge chord length, RCL) である。隣接長とは隣接の両端に位置するニューン間の隣接に沿った長さのことであり、細線化した指紋画像において各要素の4連結方向を長さ1、斜め方向を長さ $\sqrt{2}$ とし、図1(b)に示すマスキングを用いて要素の連結関係から算出される。一方、隣接弦長は隣接の両端のニューンの直線距離と定義する。また、隣接法線ベクトルは、隣接の両端のニューンと結ぶ直線の midpoint から垂直を引き、その直線と交差する方向へ向きをもたせたベクトルと定義する。これらの概念を図3に示す。

ある二つの指紋入力図形から、それが同一の指紋から採取されたことを判断する問題は、その入力図形をグラフの特徴で表現し、二つの独立した手順で記述されたグラフの部分的な一致を判定するアルゴリズムの発見の問題とし、図形の形状特徴を表現したグラフをもとにして、そのグラフから復元された二つの図形に対し

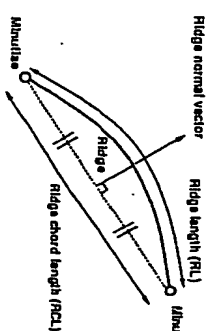


図3 隣接長、隣接弦長および隣接法線ベクトルの定義

Fig. 3 Definition of ridge length, ridge chord length and ridge normal vector.

<sup>1</sup> 豊田大学工学部, 豊田  
School of Science and Engineering, Yoneda University, Tokyo, 169 Japan

て回底、平行移動等を行って重ね合わせることによる、一致の度合を評価する手法の問題に分解して考えられる。この場合、回底の向き、平行移動の距離を見出す問題が主となる。

## 2.2 特徴情報の一意的生成法

指紋画像の特徴をグラフで表現した場合、グラフ構造を確定し、それを記述する指紋接続行列およびマニュッシュン隣接行列のデータ配列の仕方が、検索アルゴリズムにおける処理時間の短縮に重要である。これらの行列の要素の配列の順序を一定の規則に従って定めることが重要となる。

そこで、ここでは、隆線長、隆線波長、隆線法線ベクトルで表される形状的特徴を利用し、隆線およびマニュッシュンに番号(それぞれ RN, MIN)を付与すること、位置ずれに依存しない一意の特徴行列を生成する。すなわち、隆線に対しては、隆線長、隆線波長、番号を付ける。但し、等しい隆線長をもつ隆線が存在する場合、隆線波長の大きい順に番号を付ける。

一方、マニュッシュンに対しては、小さい番号をもつ隆線の両端をなすマニュッシュンから順に番号を付ける。但し、1本の隆線は両端に二つのマニュッシュンをもつため、上記手順ではマニュッシュンに対して番号付けが行われるに過ぎない。そこで、隆線法線ベクトルが垂直上方向を向くように、回底により隆線を正規化した場合、左側のマニュッシュンに対して若い番号を付与する。分岐点に対しては、最初に付与された番号を優先する。図4に隆線とマニュッシュンに対する番号付け手順の概念を示す。

## 2.3 トポロジカル特徴を還元可能とする構造記述

### 方式

指紋隆線を点線化した画像は、指紋のトポロジカルな特徴を十分含んでいる。ここでは、指紋点線画像の復元が可能であり、位置座標を利用しない構造記述法について述べる。

指紋点線画像の構造は、図5のように閉鎖的に表現できる。すなわち、指紋は複数の隆線の接続成分(Connected component)から構成されており、接続成分には、1本の隆線からなるものと、複数の隆線が分岐点により結合されたものが存在する。トポロジカル特徴の還元を考慮した記述法の条件として、接続成分相互の位置関係の情報と連結成分が複数の隆線から構成される場合には、その中で閉じた隆線相互の位置関係の情報が必要となる。図4でわかるように、マニュッシュンと隆線の関係は電子回路の印刷回路とよく似てい

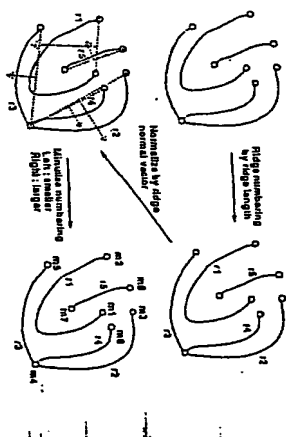


図4 隆線およびマニュッシュンの番号付け手順の概念  
Fig. 4 Concept of ridge and minutiae numbering process.

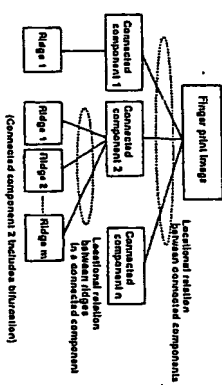


図5 指紋画像の構造表現  
Fig. 5 Description of fingerprint image structure.

る。すなわち、マニュッシュンは端子であり、隆線は配線に相当する。ここで扱う問題は、端子の名称と座標位置の情報とそれらを結ぶ配線経路の情報の表現に相当する。マニュッシュンの座標位置を図形中で決定される座標を用いず、相対的な関係で見出すことがこの問題である。

### (a) 連結成分相互の位置関係

図6に示すように、各マニュッシュンから、それが属する隆線と重ならないように引いた直線が、他の隆線と交差する点をマニュッシュン隣接点(Minutiae Neighbor Point, MNP)と定義し、 $M_{i,j}$ と表記する。境界部でないすべてのマニュッシュンには、その子として二つのマニュッシュン隣接点が存在する。赤字はマニュッシュン隣接点の親マニュッシュンと同一の番号である。赤字は、 $h$ は+か-をとり、 $a$ は、親マニュッシュンを含む隆線の法線ベクトルの正(負)方向に、マニュッシュン隣接点が存在する場合に+(-)を、 $b$ は、マニュッシュン隣接点を含む隆線の法線ベクトルの正(負)方向に、親マニュッシュンが存在する場合に+(-)となる。但し、各マニュッシュンから引いた直線同士が交差する場合は、 whichever

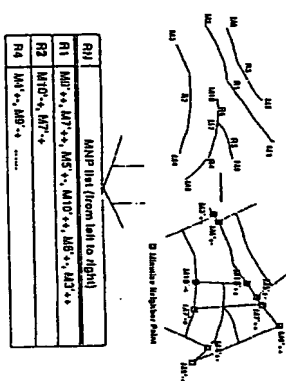


図6 マニュッシュン隣接点の定義と隆線関係情報の記述例  
Fig. 6 Definition of minutiae neighbor point and example of description of ridge relation data.

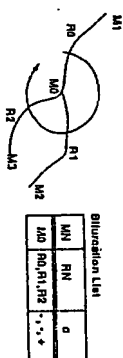


図7 隆線の連結成分内における位置関係の記述  
Fig. 7 Description of locational relation of ridges in a connected component.

生ずるため、必ず交差しない方向に引く。マニュッシュンとマニュッシュン隣接点の間隔は、復元時に隆線が交差しないように、 $\alpha$ のよう伸び縮みで決定される。以上のマニュッシュン隣接点に関する情報は、各隆線ごとに隆線関係情報として記述される。図6に隆線関係情報の記述例を示す。

### (b) 連結成分内の位置関係

連結成分内に分岐点が存在する場合は、その中で隆線相互の位置関係を記述する必要がある。そこで、各分岐点に対して、それを端点としている隆線を時計回りに順に数えたときの隆線の番号と方向 $c$ を分岐点情報として記述する。方向 $c$ は隆線法線ベクトルが時計回り方向と一致している場合に+、逆方向の場合に-とする。分岐点はいわゆるちようつがいとしての役割を果たし、隆線相互の角度は復元時に隆線が交差しないように決定される。分岐点情報の概念と記述例を図7に示す。

### (c) 隆線の形状特徴の記述

隆線の形状特徴は、隆線長、隆線波長に加え、両端マニュッシュンの方向角で分類したときの属性番号(RCN)を記述する。図8に、マニュッシュンの方向角を4通り

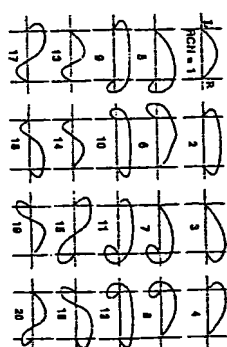


図8 隆線形状の属性の分類  
Fig. 8 An example of categories of ridge shape.

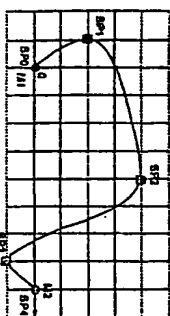
に分け、両端のマニュッシュンを通る直線上(以降、基準直線)を、隆線が1回交差する場合に属するという条件のもとで分類した場合、各属性の基本パターンを示す。隆線法線ベクトルが垂直上方向を向くように正規化した隆線を分類対象とすれば、図に示すように、隆線が基準直線と交差しないもの(RCN=1~4)、両端マニュッシュンの外側で交差するもの(5~12)、両端マニュッシュンの内側で交差するもの(13~20)の計20パターンに分類される。なお、隆線が基準直線と2回以上交差する場合は、属性番号0(その他)を与えるものとする。

そして、隆線形状の特徴を記述するために、有重点とフランク曲線により隆線を近似表現する方法を用いる。すなわち、形状特徴パラメータとして、各隆線の左端を原点、隆線波長を $x$ 軸とする直交座標系における、有重点 $S$ の差分座標( $dx, dy$ )とフランク曲線元の値( $d$ )からなるリソソ情報( $R$ )( $dx, dy, d$ )を記述する。図9に、隆線の形状特徴の記述例を示す。隆線形状は上の二つの特徴と比較して、いわゆる針金のようにならぬように記述される。

以上のように、指紋画像の構造を隆線関係情報(コン)、分岐点情報(ちようつがい)、針金のようにならぬように記述する。すなわち、針金のようにならぬ形状が保存されている隆線が、分岐点においてちようつがいのようにならぬ自由度で連結し、それぞれの隆線が伸び縮みする見えないゴムで結ばれて配置されるといふ考え方で記述する。

これらの情報をを用いて隆線構造を復元する手順を以下に示す。

- (1) 隆線長の最も短い隆線をつなぎ、隆線形状情報をを用いて復元し、任意の位置に描画する。これを着目隆線と呼ぶ。
- (2) 着目隆線の両端マニュッシュンと親とするマニュッシュン



RN	RL	RC	LC	MN	NRN
1	123	4	17	101	1
2	123	4	17	101	1
3	123	4	17	101	1
4	123	4	17	101	1
5	123	4	17	101	1
6	123	4	17	101	1
7	123	4	17	101	1
8	123	4	17	101	1
9	123	4	17	101	1
10	123	4	17	101	1

Fig. 9 An example of description of ridge shape characteristics.

シヤの接点を、隣接関係情報より求め、親ワニューシヤから隣接の平均間隔距離離れた位置に仮配置する。

(3) 着目隣接上でワニューシヤの接点を子としてワニューシヤを、隣接関係情報より求め、着目隣接上の任意の点から、隣接の平均間隔距離離れた位置に仮配置する。

(4) 仮配置されたワニューシヤの接点およびワニューシヤを含む隣接を、隣接関係情報により求め、隣接形状情報を用いて仮元シ、仮元隣接相互の交差がないように仮配置する。ここで、ワニューシヤの接点を含む隣接を仮配置する際は、その隣接上の任意の点をワニューシヤの接点とする。

復元手順(3)および(4)において、隣接上にワニューシヤの接点が2個以上ある場合には、ワニューシヤの接点の位置はその順序が保たれるように決められる。

(5) 着目隣接のワニューシヤが分岐点の場合、接続する隣接を隣接形状情報を用いて仮元シ、分岐点情報に従い仮配置する。

上記で仮元された隣接を、新たな着目隣接として仮元シの手順を繰り返すことで、指紋全体の隣接構造を復元する。復元の途中で隣接の交差が避けられない場合には、既に仮配置されている隣接のゴムの位置や長さおよび曲率を調整する。復元手順3において仮元値から配置し始める理由は、復元手順3において仮元値とされるワニューシヤの、配置の自由度を小さくすることで、仮元過程における修正処理の平均を少なくするためである。

また、このような手順で仮元された指紋画像は、原画像と比較して画質劣化は認められるものの、トポロ

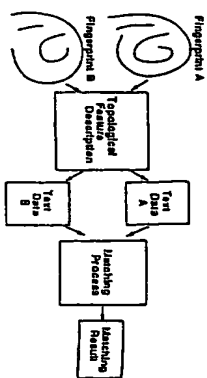


Fig. 10 Concept of identification by feature description data.

ジカルな特徴は保存されるため、目視確認のためには十分な画質であると考えられる。但し、シミュレーションによる復号画質の視覚的、定量的な評価は今後の課題にゆだねる。

### 3. 特徴記述情報による照合方式

#### 3.1 照合方式の概念と手順の概要

図10に示すように、2.3で述べた指紋の特徴を記述したデータ同士を比較して照合を行い、指紋画像の一致/不一致を判定する。照合処理は、隣接点および隣接長さによる隣接の対応付けを基本とし、対応付けられた隣接の分布を指紋画像上で確認することにより行われ、以下に挙げる三つの処理で構成される。

(1) 隣接点および隣接長さによる隣接の対応付け  
(2) 両端ワニューシヤの位置、ワニューシヤの接点を含む隣接相互の対応関係、隣接の属性等による一致確認

対応付けられた隣接ペアに対し、上に挙げた特徴情報の一致を確認することで、該当の隣接ペアを順にい落す。これらの特徴情報の例を図11に示す。図中、NRNはワニューシヤの接点に関する隣接の番号を示す。照合に最適な特徴記述データの選定は今後の課題にゆだねる。

#### (3) 指紋図形上での対応隣接の分布の確認

指紋検察処理においては、自動検察においてリストアップされた入力指紋と一致度の高い指紋の画像を目視により確認して最終的に一致する指紋を判定する必要があるため、図形として表記された指紋画像をディスプレイ上に表示することが要請される。本方式では、従来の方式による目視による一致/不一致の判断も可能である。例えば、図12に示すように、照合によって対応付けられた隣接のみを、登録指紋から抜き出して表示するとき、入力指紋と登録指紋が一致している場

RN	RL	RC	LC	MN	NRN
1	123	4	17	101	1
2	123	4	17	101	1
3	123	4	17	101	1
4	123	4	17	101	1
5	123	4	17	101	1
6	123	4	17	101	1
7	123	4	17	101	1
8	123	4	17	101	1
9	123	4	17	101	1
10	123	4	17	101	1

Fig. 11 An example of fingerprint feature data.

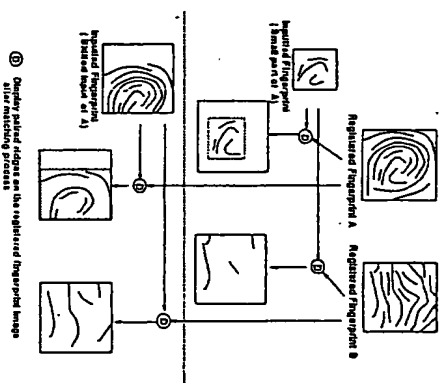


Fig. 12 Location of paired ridges on the fingerprint image.

合には、入力指紋の形状が登録指紋図形上に反映される。一方、不一致指紋の場合には、該当の対応付けられた隣接が、入力指紋の形状とは無関係に表示されることになる。なお、図12は、入力指紋が一部のみ採取できた場合および位置ずれが大きい場合における、照合による隣接の対応付けのイメージを示している。

#### 3.2 提案方式の特徴

本方式では、入力指紋として指紋画像の一部のみが与えられる場合でも、何らかの隣接が抽出されれば、照合可能である。従って、本方式を本人認証処理に適応した場合には、必ずしも指紋全体の一致を確認する必要はなく、例えば指紋中に隣接が得て安定して抽出できる領域が存在する場合や他人と比較して特徴的な領域が存在する場合には、その領域のみの一致度を確認することで判定できる。あるいは、一致度を判定する

論文/技術的特徴性による指紋画像の構造記述と照合方式の提案

領域を個人ごとに秘密に指定することで、暗証番号のような暗証情報として利用できる。

一方、検察処理に適用した場合には、検察用指紋が一部しか得られない場合でも、登録点および隣接点を検察用として比較することで、指紋データベースから容易にリストアップすることが可能。採取された指紋には指紋全体が十分に得られる場合は少なく、本方式がもたらすメリットは大きい。また、従来の方式では検察用指紋としてのワニューシヤは専門的なオペレータの手作業により抽出されているが、本方式によれば、検察用としての隣接点および隣接長を抽出する処理は、画像処理により自動化される。

### 4. シミュレーション実験

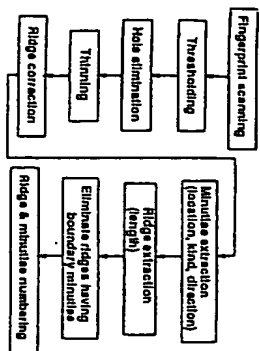
#### 4.1 隣接関係情報のための照合手順

隣接点および隣接長さによる隣接の対応付けを基本とする照合方式の論理的な検証を行うために、シミュレーション実験を行った。但し、ここでは隣接点および隣接長さに加えて、トポロジカル特徴を特徴量であるワニューシヤの間隔とワニューシヤの方向角を用いて、以下に示す三つのStepからなる照合手順により検証した。

[Step 1] 隣接点および隣接長さによる隣接の対応付け  
[Step 2] ワニューシヤの相対的位置関係による照合  
[Step 3] ワニューシヤの角度による照合

照合実験に必要な特徴情報は、隣接点、隣接長さ、両端ワニューシヤ番号、ワニューシヤの位置座標およびワニューシヤの角度である。但し、ワニューシヤの角度  $D$  とは図13(a)に示すように、端点においてはエッジ方向と接線方向がなす角であり、分岐点においては接線方向とエッジ方向とがなす角である。角度はエッジ方向を基準として、時計回りに計る。ここで、ワニューシヤの位置座標は、...指紋内におけるワニューシヤ相互の距離を求めた点のものであり、基準による位置合せ処理は不要である点に注意。図14に示す照合方式と相違ない。画像のサイズが480 pixel x 480 pixelの場合、1指紋内に存在する隣接点およびワニューシヤ数は60点、110個未満に大部分が抑えられるため、登録情報は約900 Byte未満となる。図13(b)に、実験で用いる特徴情報の例を示す。図中、(エウ)はワニューシヤの位置座標を、[...]内の文字は必要なビット数を示す。照合手順の概要を図14に示し、各Stepを以下で説明する。



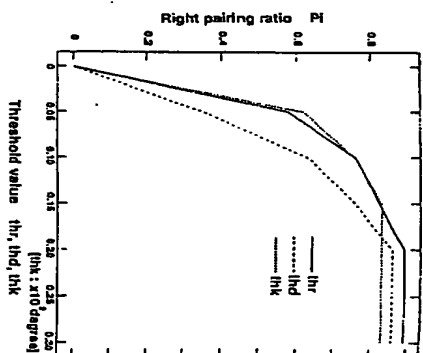
図 17 特徴データ抽出手順  
Fig. 17 Feature data extraction process.図 18 修正済偽線画素と無効線画素を削除した後の  
Fig. 18 Automatic corrected images and false ridge removed image.

シヤではないため、これらのマニューシヤに接続する偽線は、無効線として除去される。その後、偽線は隣接画素の長い順に、マニューシヤは接続する偽線の番号と法線ベクトルをもとに番号付けが行われる。修正済偽線画素とそこから無効線を除去した後のマニューシヤを④印で記したものを図 18 に示す。

#### 4.3 しきい値の決定

照合実験に先立ってしきい値  $thr$ ,  $thr_d$ ,  $thr_m$ ,  $thr_k$  を決定する必要がある。そこで、これらのしきい値をパラメータとし、各照合段階における正対応率 ( $P1 \sim P3$ ) を求めた。一組の同一指紋画像に対して、本来対応づけられるべき偽線ベアおよびマニューシヤベアの総数をそれぞれ  $R0$ ,  $M0$ 、照合の各段階で実際に正しく対応づけられた偽線数およびマニューシヤ数を  $R1$ ,  $M2$ ,  $M3$  とすると、 $P1 = R1/R0$ ,  $P2 = M1/M0$  ( $i=2, 3$ ) と表される。但し、これらの対応の正しさは目視により確認する。

3人の被験者が1指を3回入力した。計9枚の指紋画像から得られる、9組の同一指紋画像の組合せに対して、しきい値を可変として  $P1$  を求めた。しきい値と

図 19 各照合段階における正対応率  
Fig. 19 Rate of rightly paired ridge/minutiae in each verification step.

$P1$  の平均値の関係を図 19 に示す。しきい値を増加させるとき、 $P1$  が安定し始める付近が、誤対応の最も少ない場合であるため、そのときのしきい値を読み取ることで、各しきい値の最適値を決定する。但し、 $thr_d$  を決定するにあたり  $thr_m=0.6$  と固定した。また、 $thr_d$  と  $thr_k$  は、それを求める時点までに決定できる最適なしきい値の値を用いた。図 19 から、 $thr=0.2$ ,  $thr_d=0.2$ ,  $thr_k=1.5$  とした。

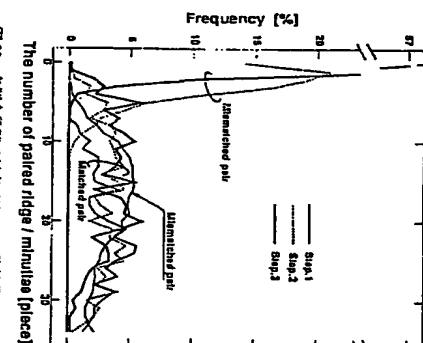
#### 4.4 実験手順

提案方式の照合精度を評価するために、以下の手順で照合実験を行った。

- (1) 指固定ガイド等の入力ごとに指を一定位置に固定する仕掛けは一切用いず、被験者がマニューシヤを見ながら、指紋が面からはみ出さないように注意して、フリズム上に指を置いてもらう。被験者 10 人に対して 10 回ずつ入力を繰り返し、計 100 枚の指紋画像を得る。
- (2) すべての指紋画像に対して、特徴量抽出処理を行い、偽線情報およびマニューシヤ情報を抽出する。
- (3) 100 個の指紋画像から任意の二つを選ぶすべての組合せ 4,950 通り (同一指紋 450 組、異指紋 4,500 組) に対して、照合処理を行い、各照合段階において対応づけられた偽線数、マニューシヤ数および照合率を求める。

#### 4.5 照合結果と考察

4.5.1 対応偽線および対応マニューシヤの分布  
照合の各段階終了時点で対応づけられた偽線および

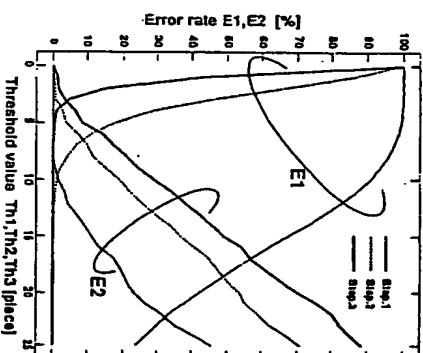
図 20 各照合段階で対応づけられた偽線数およびマニューシヤ数  
Fig. 20 Number of paired ridge/minutiae in each verification.

マニューシヤ分布を図 20 に示す。照合 Step 1 終了時点における対応偽線数の分布は、同一指紋と異指紋でかなりの重なりがあるものの、そのピークは 10 本程度異なっており、同一指紋同士ではほとんど存在しない 7 本以下でも、異指紋は分布している。従って、この時点で対応づけられた偽線数が極端に少ない場合には、不一致として照合を終了することができるとわかった。

照合が進むに従い、異指紋同士における対応マニューシヤ数は 0 近辺に集中しており、対応マニューシヤの振る舞い落ちの効果が確認できる。一方、同一指紋同士においても、対応マニューシヤ数は少ない分布に推移するものの、その割合は異指紋同士の割合と比較してかなり小さい。Step 3 終了時点での異指紋同士の対応マニューシヤ数は、大部分が 0~4 個に存在する一方、同一指紋同士の対応マニューシヤ数の分布は 3~25 個と広い範囲にわたって存在しており、適切なしきい値を決定することで、高精度の照合が行えると推察できる。

#### 4.5.2 照合結果と考察

指紋の一組、不一致を決定するしきい値  $Thr_m$  に対する他人受理率  $E1$  および本人拒否率  $E2$  の関係を図 21 に示す。他人受理率は異指紋同士の照合において同一指紋と誤って判断される確率であり、本人拒否率は同一指紋同士の照合において異指紋と誤って判断される確率である。照合終了時において、例えば  $E1=0.3$  [%] のときに  $E2=8.7$  [%] ( $Thr_m=5$ ) が得られ、方式の基本

図 21 各照合段階における誤り率  
Fig. 21 Error rate in each verification ( $E1$ ,  $E2$ ).

的な部分における有効性が確認された。

照合の主たる原因としては、提案方式が偽線の長さや距離を手取りとして、偽線やマニューシヤの対応付けを行うための伸縮圧力や指の通り気などのさまざまな入力条件に依存して、入力ごとに異なった形で画像上に生じる偽線の歪みや切断が避けられる。検音を含む情報から図形情報のあいまい性の低減を図り、かつフリズムスの速度を向上させる方法を見出すことが今後の課題である。

#### 5. おわりに

本論文では、入力画像の位置ずれに柔軟に対応可能な、指紋偽線画像の構造記述方式を提案し、特徴情報の種類とその抽出法に関する基本的な手法および概念を整理した。提案方式は、偽線やマニューシヤの接続関係等でおおわれるグラフ的特徴情報を、偽線長やその枝の長さ等でおおわれる形状的特徴を用いることで、入力の回転ずれや平行移動等の位置ずれに対して、変化の少ない特徴情報を得られることを特徴とする。また、提案する特徴記述方式を用いて、偽線長による偽線の対応付けを基本とする、探索的な位置合せ処理を必要としない照合方式を提案し、その基本的アルゴリズムの概念を整理した。そして、照合実験を通して、少ない被験者数ではあるが、提案方式のある程度の有効性を確認し、総合的なフリズムスの中に組み込むことの見通しを得た。本論文では、基本アルゴリズムの提案および概念の整理とその検証にとどまっており、より実

用的なシステムを作るためには、専用のハードウェアの開発が必要である。

本研究は、小松氏(平成1年博士)、Noel氏(昭和63年文部省ラサール大学留学生)の研究に基くものとすることができる。研究の初期の段階において、数々の照合アルゴリズムが提案、検討されてきた<sup>10)</sup>が、主にデータベース入力処理、基本的アルゴリズムに関しては、高橋氏(平成元年修士)、横里氏(平成3年修士)の成果<sup>10)</sup>に負うところが多い。本論文は指紋入力装置および指紋入力環境が整備されたのに伴い、それらを踏まえてアルゴリズムおよびデータベース処理を完成させた成果である。

## 文 献

- (1) Fitzgerald K.: "The quest for intruder-proof computer systems", IEEE Spectrum, 26, pp. 22-26 (Aug. 1989).
- (2) 加藤雅浩: "身体特徴を用いた個人照合装置, 指紋方式が先陣を切る", Nikkei Electronics, 464, pp. 171-177 (1989-01).
- (3) 所 敏, 笠井雄男, 神崎純樹: "新しいセキュリティシステムの開拓", エレクトロニクス, 9, pp. 38-43 (1988-09).
- (4) 本出直哉, 田中和彦, 松井 佳: "個人識別用指紋照合装置のための指紋入力力法と照合アルゴリズムの改良", 電子情報, PRU88-36 (1988).
- (5) 佐川浩一, 横里文彦, 池崎通樹: "低品質画像への対応能力を高めた個人照合用指紋照合装置", 電子情報(D-11), J72-D-11, 5, pp. 707-714 (1989-05).
- (6) 大前一博, 中島恭一, 鈴木隆夫, 田中由緒: "マイクロコンピュータを用いた指紋照合装置のデータベース化", 電子情報, 16, 4, pp. 215-222 (1987).
- (7) 井道誠吾, 矢野前記, 戸口 伸, 山本文雄, 池田弘之, 福岡健史: "マイクロチップ指紋センサを用いた個人照合装置", 電子情報, PRU87-31 (1987).
- (8) 戸口 伸, 神谷敏玄, 名倉道長: "マイクロチップ方式による指紋照合装置", 電子情報, PRU88-43 (1988).
- (9) 松井 佳, 加藤雅浩, 木他和夫: "ニューラルネットワーク特徴による自動指紋照合一照合装置", 電子情報(D), J72-D-2, 5, pp. 733-740 (1984-03).
- (10) 木下雅文, 清水英典, 小松勉久: "個人認識の運用環境とセキュリティレベルに関する考察", 1992 年時計と情報セキュリティシンポジウム (SCIS92), 8C (1992).
- (11) Tenor D. K. and Zakay S. G.: "Fingerprint Identification Using Graph Matching", Pattern Recognition, 10, 2, pp. 113-123 (Feb. 1986).
- (12) R. J. Willson 著, 斎藤伸也, 西園隆夫訳: "グラフ理論入門", 近代科学社 (1985).
- (13) 山田道夫, 伊藤典男, 並木英治: "指紋照合システムのための特徴抽出による高解像度画像処理方式", 電子情報(D-11), J76-D-11, 3, pp. 547-556 (1993-03).
- (14) 川越正弘, 横上翔男: "指紋パターン自動分類", 情報学コンピュータシンポジウム, CIVI-2 (1992-05).
- (15) 大仲興之: "平均および最小値に基づく自動しきい値判定法", 電子情報(D), J65-D, 4, pp. 349-356 (1980-04).
- (16) 田村秀行: "多面的特徴抽出とそのソフトウェア・システムに関する研究", 電子情報照合研究所周知報告, 835, p. 42 (1983).

- (17) 加賀成樹, 中村 祐, 奥野治雄: "精選認識に基づく特徴抽出の簡便なアルゴリズム", 電子情報(D), J65-D, 3, pp. 731-738 (1980-05).
- (18) 清水英典, 小松勉久, Noel, D. R. 高橋仁史: "河原義孝による指紋照合の入力と照合手段の提案", 情報符号化システム, PCS87, 7-10 (1987-09).
- (19) 横里純一, 高橋仁史, 小松勉久, 清水英典: "グラフを用いた指紋による自動個人識別", 1989 年学術大会, D-483, (平成4年11月12日受付, 5年4月6日受付)

## 山田 道夫



昭和63年大・理工・電子通信卒, 早大理工大工学部修士課程了, 早大理工大工学部博士後期課程了, 工学, 在学中, 主に画像符号化, 画像処理における特徴抽出手法, 身体的特徴を用いた個人識別手法などの研究に従事, 画像電子学会会員。

## 小松 勉久



早大理工大・理工・電子通信卒, 現在同大工学部修士課程在学中, 画像情報処理と認識に関する研究に従事。

## 清水 英典



昭和37年大・理工・電気通信卒, 昭和39年大工学部修士課程了, 同年電気公社電気通信研究所入所, 昭和46年大助教授, 昭和51年大教授, 早大理工大工学部助教授, 主にISDN, テレマチックサービスの研究に従事, 工学, 情報処理学会, 画像電子学会, テレマチック学会, IEEE 会員。



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**